

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

10/526517

**PRIORITY
DOCUMENT**SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

REC'D 17 DEC 2003

WIPO

PCT

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung****Aktenzeichen:**

102 41 012.7

Anmeldetag:

05. September 2002

Anmelder/Inhaber:Continental Teves AG & Co oHG,
Frankfurt am Main/DE**Bezeichnung:**Gierraten- und gierbeschleunigungsabhängige
Dämpfersteuerung zur Unterstützung von ESP**IPC:**

B 60 G 13/00

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.München, den 25. September 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag
Brosig

Gierraten- und gierbeschleunigungsabhängige Dämpfersteuerung zur Unterstützung von ESP

Stand der Technik:

Konventionelle ESP-Systeme beeinflussen die Horizontaldynamik von Fahrzeugen durch gezielten aktiven Bremsdruckaufbau an einzelnen Rädern, um so zusätzliche Gierrmomente um die Fahrzeughochachse aufzubauen, und das Fahrzeug bezüglich Gierrate (und Schwimmwinkel) auf vorgegebenen Sollwerten zu halten, die durch Fahrzeugmodellrechnungen bestimmt werden.

Ein weiterer bekannter Mechanismus von ESP liegt in der Reduzierung des vom Fahrer angeforderten Motormoments, um vorzugsweise ein starkes Untersteuern auf niedrigen Reibwerten zu unterdrücken.

In beiden Fällen wird die Dynamik des Fahrzeugs teilweise erheblich reduziert, was zu einer veränderten Fahrzeugcharakteristik führt. Speziell bei dynamisch ausgelegten Fahrzeugen empfindet der Fahrer das veränderte bzw. erschwerte Handling als negativ.

In der vorliegenden Anmeldung wird eine Maßnahme beschrieben, die Horizontaldynamik eines Fahrzeugs durch eine Veränderung der Charakteristik des Vertikalverhaltens zu beeinflussen. Dies geschieht durch die dynamische Veränderung der Dämpfercharakteristik mittels einstellbarer Stoßdämpfer. Verfahren dieser Art sind bereits bekannt und veröffentlicht. Insbesondere gilt die Erkenntnis, dass hart geschaltete Dämpfer an der Vorderachse zu einem Untersteuern des Fahrzeugs führen, während hart geschaltete Hinterachsdämpfer das Übersteuern des Fahrzeugs unterstützen. Diese Effekte werden durch die zur Verfügung stehende Summenseitenkraft der jeweiligen Achse erzielt. Die Summenseitenkraft verringert sich beim dynamischen Einwanken des Fahrzeugs im Falle von harter Dämpfung, während sie bei weicher Dämpfung geringfügig gegenüber dem Neutralzustand der Dämpfer erhöht wird.

Durch die Variation der verfügbaren Summenseitenkräfte von Vorder- und Hinterachse kann nun die Fahrzeugcharakteristik dynamisch in Abhängigkeit verschiedener Fahrzustände und situationen variiert werden. Daraus folgt, dass dem Fahrzeug ein tendenziell unter- oder übersteuerndes Verhalten aufgeprägt werden kann, das sich der mechanisch bedingten Fahrzeuggrundauflegung überlagert.

In der Praxis zeigt sich, dass die Effekte einer solchen Variation nur dann vorteilhaft genutzt werden können, wenn die Dämpfersteuerung abhängig vom gefahrenen Manöver in absolut angepasster Phase zum Verlauf von Gierrate und Gierbeschleunigung erfolgt. Deshalb ist eine Integration der Dämpfersteuerung in das heutige ESP sinnvoll, das bereits über geeignete Signale und Fahrzeugmodelle verfügt.

Der vorliegenden Erfindung liegt also die Aufgabe zugrunde, die Fahrdynamik eines Fahrzeugs in beliebigen Fahrmanövern zu verbessern, indem die Charakteristik der Dämpfer hochdynamisch in Abhängigkeit von Gierrate und Gierbeschleunigung so zu verstellen ist, dass das Fahrzeug möglichst einer vom ESP berechneten Referenzgierrate folgt, ohne dass im Idealfall das konventionelle ESP mit Bremsen- und Motoreingriffen aktiv zu werden braucht.

Im Falle starker Unter- oder Übersteuersituationen können jedoch Bremsen- und Motoreingriffe der ESP-Regelung den Eingriffen der Dämpfersteuerung unverändert überlagert werden. Durch die adaptive Dämpfersteuerung wird also die Stabilitätsgrenze des Fahrzeugs in Richtung höherer Fahrdynamik verschoben.

Da die Dämpfer grundsätzlich eine endliche Einstellzeit aufweisen, sieht das vorgestellte Konzept vor, diese als Verzugszeit mit in die Regelstrategie zu integrieren, damit die angeforderte Dämpfercharakteristik jeweils zum richtigen Zeitpunkt vorliegt.

Nachfolgend wird das Konzept der Dämpfersteuerung detailliert beschrieben.

Verwendete Signale:

Anhand von verschiedenen Signalen, die teils direkt dem ESP entnommen sind und teils durch die hier vorgestellte Vorrichtung erzeugt werden, wird das Verhalten des Fahrzeugs bewertet.

Die grundsätzliche Idee besteht darin, das Fahrzeugverhalten anhand von Gierraten, aber auch deren zeitliche Ableitungen (Gradienten), also Gierbeschleunigungen zu beobachten.

Die üblicherweise in ESP-Systemen verwendete Referenzgierrate zeigt an, welche Gierrate der Fahrer aufgrund seiner Lenkaktivität erreichen möchte und unter Berücksichtigung des installierten Fahrzeug-Eigenlenkverhaltens und des vorliegenden Fahrbahnreibungswerts auch physikalisch umsetzen kann, ohne dass das Fahrzeug seine Fahrstabilität verliert. Diese Referenz stellt damit einen direkten Sollwert $\dot{\psi}_{soll}$ für die ESP-Regelung dar und ist für das hier vorgestellte Konzept nicht optimal geeignet.

Die hier benötigte Referenzgierrate ist die auf dem vorgegebenen Lenkwinkel basierende Gierrate des stationären Einspurmodells, die in erster Linie den Fahrer-Lenkwunsch repräsentiert (ohne die physikalische Umsetzbarkeit zu berücksichtigen):

Berechnung:

$$\dot{\psi}_{ref} = \delta \frac{v}{l + EG * v^2}$$

mit δ = Lenkwinkel am Rad (wird aus dem Lenkradwinkel abgeleitet)

v = Fahrzeuglängsgeschwindigkeit

(wird i.a. aus den Radumfangsgeschwindigkeiten geschätzt)

l = Radstand

EG = Eigenlenkgradient des Fahrzeugs

Diese Referenzgierrate $\dot{\psi}_{ref}$ zeigt an, welches Manöver der Fahrer einzuleiten gedenkt, und liegt in der Phase allgemein vor $\dot{\psi}_{soll}$ und der tatsächlichen Gierrate $\dot{\psi}$. Anhand dieses Signals kann nun abgeschätzt werden, wie stark das Fahrzeug in der Folgezeit einwanken wird, wobei zunächst immer ein Hochreibungswert von μ gleich 1 angenommen wird. Da das Referenzgierratensignal $\dot{\psi}_{ref}$ in der Phase weit vor der Fahrzeugreaktion liegt, bleibt genügend Zeit, um bei hoher Signaldynamik (eindeutiger Richtungsänderungswunsch des Fahrers) die Dämpfersteuerung rechtzeitig einzuleiten, bevor das Fahrzeug zu Wanken beginnt bzw. sein Wankverhalten deutlich ändert. Dies ist wichtig, da die Dämpfercharakteristik immer nur wirkt, wenn sich der Einfederweg an dem betreffenden Rad ändert:

$$F = D * \dot{x}$$

mit D = Dämpferkonstante (wird durch Einstellung variiert)
 x = Einfederweg
 \dot{x} = Einfedergeschwindigkeit

Als weitere ESP-Signale werden die leicht gefilterte und über Plausibilitäten abgesicherte Fahrzeuggierrate $\dot{\psi}$, die Fahrzeugquerbeschleunigung a_y (z.B. im Fahrzeugschwerpunkt), der Lenkwinkel am Rad δ sowie die Fahrzeuglängsgeschwindigkeit v verwendet.

Regelstrategie:

Die grundsätzliche Regelstrategie sieht vor, anhand der Differenz von tatsächlicher Gierrate $\dot{\psi}$ und der Referenzgierrate $\dot{\psi}_{ref}$ zu entscheiden, ob das Fahrzeug im betrachteten Zeitintervall bzw. im aktuellen Regelungszyklus neutral fährt oder unter- bzw. übersteuert.

Im Falle einer Geradeausfahrt, einer stationären Kurvenfahrt (Wankwinkel nahezu konstant) sowie auch bei einem neutralen Einlenkverhalten (Gierratendifferenz $\dot{\psi}_{ref} - \dot{\psi}$ klein), werden alle Dämpfer in einen neutralen Zustand versetzt, der entweder der Grundabstimmung des Fahrzeugs entspricht oder Resultat einer anderen beispielsweise komfortorientierten Regelstrategie ist (Beispiel: Skyhook-Regelung).

Bei einer Untersteuertendenz des Fahrzeugs (dadurch gekennzeichnet, dass der Betrag von $\dot{\psi}_{ref}$ größer ist als der Betrag von $\dot{\psi}$) wird die Fahrzeugcharakteristik auf 'übersteuerndes Verhalten' geschaltet, indem die Dämpfer der Vorderachse weich, die der Hinterachse hart geschaltet werden. Damit wird erreicht, dass die verfügbare Summenseitenkraft der Vorderachse leicht erhöht und die der Hinterachse leicht abgesenkt wird. Während des kurvenbedingten Einfederns baut sich also ein erhöhtes Lenkmoment auf, das von der Hinterachse schlechter abgestützt wird als im neutral geschalteten Zustand, der dem Fahrzeug das installierte Eigenlenkverhalten verleihen würde. Der physikalische Effekt dieser Maßnahme besteht darin, dass sich die Gierrate des Fahrzeugs erhöht und sich damit der Fahrervorgabe annähert.

Im Falle einer erkannten Übersteuertendenz des Fahrzeugs (dadurch gekennzeichnet, dass der Betrag von $\dot{\psi}_{ref}$ kleiner ist als der Betrag von $\dot{\psi}$) wird die Fahrzeugcharakteristik auf 'untersteuerndes Verhalten' geschaltet, indem die Dämpfer der Vorderachse hart, die der Hinterachse weich geschaltet werden. Damit wird erreicht, dass die verfügbare Summenseitenkraft der Vorderachse leicht abgesenkt und die der Hinterachse leicht erhöht wird. Während des kurvenbedingten Ein- bzw. Ausfederns verringert sich also das Lenkmoment und wird zudem von der Hinterachse besser abgestützt als im neutral geschalteten Zustand. Der physikalische Effekt dieser Maßnahme besteht darin, dass sich die Gierrate des Fahrzeugs verringert und sich damit der Fahrervorgabe annähert.

Fig. 1 stellt diesen Sachverhalt beispielhaft anhand der Abfolge von einer Links- und einer Rechtskurve im zeitlichen Ablauf dar.

Dabei ist 1 die durch den Fahrer-Lenkwinkelwunsch vorgegebene Referenzgierrate $\dot{\psi}_{ref}$, und Signal 2 repräsentiert die tatsächliche (gemessene) Fahrzeuggierrate $\dot{\psi}$.

Zuerst lenkt der Fahrer zum Zeitpunkt 14 in eine Linkskurve ein (Gierraten 1 und 2 positiv).

Zum Zeitpunkt 3 erkennt das System eine Untersteuertendenz, da die Referenzgierrate 1 um einen großen Betrag 4 über der gemessenen Gierrate 2 liegt. Um dem Fahrzeug eine verbesserte Lenkfähigkeit zu ermöglichen, wird versucht, mit Hilfe der Dämpfersteuerung ein Übersteuerverhalten zu forcieren. Dazu werden die Dämpfer der Vorderachse (Kurvenverlauf 9) zum Zeitpunkt 3 vom Zustand neutral (12) in den Zustand weich (11) umgeschaltet, während die Hinterachsdämpfer (Kurvenverlauf 10) vom Zustand neutral (12) in den Zustand hart (13) überführt werden.

Zum Zeitpunkt 4 hat sich die Gierrate 2 so dicht an die Referenz 1 angenähert, dass alle Dämpfer wieder in ihren Neutralzustand (12) geschaltet werden.

Zum Zeitpunkt 15 beginnt der Fahrer von der Links- in die Rechtskurve einzulenken (Gierraten 1 und 2 werden anschließend negativ).

Ab Zeitpunkt 6 zeigt das Fahrzeug eine Übersteuertendenz bezüglich der neuen Rechtsdrehung, die durch das deutliche (betragsmäßige) Überschwingen 7 der Gierrate 2 über die Referenz 1 im Zeitintervall 6 bis 8 gekennzeichnet ist.

Deshalb werden die Dämpfer in diesem Zeitabschnitt erneut vom neutralen Zustand 12 individuell umgeschaltet. Um das Übersteuern zu unterdrücken, wird dem Fahrzeug jetzt ein untersteuerndes Verhalten aufgezwungen, indem die Dämpfer der Vorderachse von neutral (12) auf hart (13) und die Dämpfer der Hinterachse von neutral (12) auf weich (11) umgeschaltet werden.

In der Praxis zeigt sich, dass mit dieser Strategie in vielen Fahrsituationen gute Ergebnisse erzielt werden können. Jedoch ergibt sich beim Beispiel in Fig. 1 ein wesentliches Problem. Wenn die Dämpferumschaltung zum Zeitpunkt 6 erfolgt, ist das Fahrzeug bezüglich der neuen Kurvenrichtung bereits weitgehend eingewankt, so dass die Dämpferverstellung nur einen minimalen Effekt erzielen kann.

Daher besteht das wesentliche Ziel der vorliegenden Anmeldung darin, Strategien aufzuzeigen, die eine frühe Dämpferverstellung vorsehen, die auch hochdynamische Fahrmanöver und vor allem kritische Verbundmanöver (Spurwechsel etc.) optimal unterstützt.

Das ist nicht allein über die Betrachtung der Abweichung zwischen Referenzgierrate 1 und der tatsächlichen Gierrate 2 erreichbar.

Ein wichtiges Kriterium ist vielmehr der Gradient der Fahrzeuggierrate, also die Gierbeschleunigung des Fahrzeugs, speziell im Nulldurchgang der Gierrate, wenn ein Kurvenwechsel erfolgt, oder in einem Band um diesen Nullpunkt.

Weiterhin ist zu berücksichtigen, welchen Betrag die Gierrate vor ihrem Nulldurchgang hatte, wie dynamisch also die vorherige Kurve durchfahren wurde, und wie schnell das Umlenken in die neue Kurvenrichtung erfolgte.

Zusätzlich ist entscheidend, wie lange die vorherige Kurvenrichtung (vor dem Nulldurchgang) durchfahren wurde. Davon hängt ab, ob sich das Fahrzeug in der vorherigen Kurvenrichtung hinreichend stabilisieren konnte. Im Falle kurzer Zeitintervalle für eine Kurvenrichtung muss von einem hochdynamischen Manöver ausgegangen werden. Während eines solchen Manövers muss nach jedem

Kurvenwechsel versucht werden, dem Fahrzeug möglichst viel Stabilität zu verleihen, was durch eine frühzeitige Einstellung einer weichen Dämpfercharakteristik an den Hinterrädern zu bewirken ist.

Die hier vorgestellten Mechanismen sehen also eine Dämpfersteuerung vor, die – anders als die klassische ESP-Regelung – nicht nur die Regelabweichung zwischen Referenz- und Istgierrate als Kriterium für einen Eingriff betrachten, sondern auch den Verlauf der Gierrate selbst, wobei die absoluten Maximalwerte der Gierrate sowie die Gierbeschleunigung speziell im Nulldurchgang der Gierrate herangezogen werden.

Dazu zeigt Fig. 2 beispielhaft ein ähnliches Lenkmanöver wie in Fig. 1.

Der Fahrer lenkt zum Zeitpunkt 34 in eine Linkskurve ein und beginnt zum Zeitpunkt 35 mit dem Gegenlenken in die Rechtskurve.

Die vorliegende Anmeldung sieht vor, unmittelbar nach dem Gegenlenken in 35 abhängig vom Gradienten 37 der Fahrzeuggierrate 22 in deren Nulldurchgang zum Zeitpunkt 26 sofort eine Dämpfercharakteristik einzustellen, die dem Fahrzeug eine Untersteuertendenz verleiht, obwohl das Fahrzeug noch nicht in der angeforderten Rechtsrichtung dreht.

Demgemäß werden zum Zeitpunkt 26 die Dämpfer der Vorderachse (Verlauf 29) hart, die der Hinterachse (Verlauf 30) weich geschaltet. Diese Maßnahme führt im dargestellten Beispiel dazu, dass der eingeschlungene Kurvenzustand zum Zeitpunkt 28 erreicht wird, ohne dass die Gierrate 22 über die Referenz 21 hinausschwingt. Das Fahrzeug bleibt also durch die prophylaktische Maßnahme im Zeitpunkt 26 stabiler als mit der Maßnahme im Zeitpunkt 6 aus Fig. 1.

Damit dem Fahrzeug in unkritischen Fällen nicht zuviel Dynamik beim Gegenlenken genommen wird, erfolgt der beschriebene Eingriff zum Zeitpunkt 26 nur dann, wenn der Betrag der Gierbeschleunigung im Nulldurchgang der Gierrate einen bestimmten Schwellwert überschreitet:

$$|\ddot{\psi}| > \text{Schwelle}$$

2

Für die Schwelle kann ein fester Wert von ca. 100grd/s*s ??? als guter Erfahrungswert verwendet werden.

In weiteren Ausführungsformen der Erfindung wird diese Schwelle aber auch als Funktion der Fahrzeuggeschwindigkeit und/oder der unmittelbar zuvor (beispielsweise in einem definierten Zeitintervall ΔT 27) maximal erreichten Gierrate sowie anderer fahrdynamisch relevanter Größen berechnet:

$$\text{Schwelle} = f(v(\text{Fahrzeug}), \dot{\psi}_{\max}(\Delta T), \ddot{\psi}_{\max}(\Delta T), a_{y,\max}(\Delta T))$$

Dabei gilt folgender prinzipieller Zusammenhang:

Bei kleineren Fahrzeuggeschwindigkeiten wird eine höhere Schwelle gefordert; ebenso bei kleineren maximalen Gierraten im Zeitintervall 27 unmittelbar vor dem Gierraten-Nulldurchgang.

Die Maßnahme zum Zeitpunkt 26 kann in anderen Ausführungsbeispielen auch ganz entfallen, wenn zum Beispiel im Zeitintervall 27 die Gierrate 22 nicht mindestens einen Schwellwert 36 betragsmäßig überschritten hatte, wobei dieser Schwellwert

selbst eine Funktion der Fahrzeuggeschwindigkeit und/oder anderer fahrdynamisch relevanter Größen sein kann.

Bei extremen Lenkmanövern mit höherer Dynamik sieht das hier dargestellte Konzept vor, im Bedarfsfall die Dämpfersteuerung auch in dichter zeitlicher Abfolge zu variieren, um dem Fahrzeug in jedem Zeitintervall die optimal angepasste Eigenlenkcharakteristik zu verleihen.

Dazu zeigt Fig. 3 erneut eine ähnliche Fahrsituation wie Fig. 1 und Fig. 2, wobei der Fahrer diesmal zum Zeitpunkt 54 sehr hart in die Linkskurve einlenkt und zum Zeitpunkt 55 ebenfalls sehr dynamisch in eine Rechtskurve gegenlenkt. Bedingt durch die Tatsache, dass sich das Fahrzeug zum Zeitpunkt 55 bzgl. der Linkskurve noch nicht stabilisiert hat, ergibt sich beim Gegenlenken in 55 ein schlechtes Folgeverhalten, was durch das Nacheilen der Fahrzeuggierate 42 hinter der Referenzgierate 41 angedeutet ist. Der Fahrer kann diesen Phasenverzug in der Fahrzeugreaktion als sehr gefährdend empfinden, wenn er aufgrund der Fahrsituation einen engen Kurs einhalten muss, und dann durch Vorgabe eines zu hohen Lenkwinkels in der Gegenrichtung überreagieren. In vielen Fällen führt das zu starke und zeitlich zu lange Lenken zu Fahrzeuginstabilitäten. Deshalb ist es wichtig, dem Fahrer eine möglichst direkte Fahrzeugreaktion zu vermitteln.

Nach dem hier vorgestellten Konzept der Dämpfersteuerung wird daher die Lenkfähigkeit des Fahrzeugs zum Zeitpunkt 46 erhöht, wenn die Differenz 47 zwischen der Fahrzeuggierate 42 und der Referenzgierate 41 eine Schwelle überschreitet.

Dazu werden die Dämpfer der Vorderachse (Kurvenverlauf 61) zum Zeitpunkt 46 vom Zustand neutral (62) in den Zustand weich (61) umgeschaltet, während die Hinterachsdämpfer (Kurvenverlauf 60) vom Zustand neutral (62) in den Zustand hart (63) überführt werden.

Zum Zeitpunkt 48 wird festgestellt, dass das Fahrzeug hinreichend reagiert und einen betragsmäßig hohen Gierratengradienten 51 in Richtung Rechtskurve aufgebaut hat. Daher werden zum Zeitpunkt 58 wieder alle Dämpfer in den Neutralzustand 62 überführt.

Anschließend schneidet die Fahrzeuggierate 42 zum Zeitpunkt 49 die Nulllinie, und es wird wieder die bereits in Fig. 2 dargestellte Maßnahme eingeleitet, die dem Fahrzeug wieder eine untersteuernde Charakteristik aufprägt. Damit wird selbst bei hochdynamischem Gegenlenken die Gierratenüberhöhung im Zeitpunkt 50 gut bedämpft.

In weiteren Ausführungsformen der Erfindung wird die prophylaktische Maßnahme zum Zeitpunkt 49 nicht nur im Nulldurchgang der Gierrate aktiviert, sondern bereits dann, wenn der Gradient der Fahrzeuggierate den der Referenzgierate erreicht bzw. überschreitet. In solchen Fällen hat das Fahrzeug bereits eine hinreichende oder sogar zu hohe Dynamik in der neuen Kurvenrichtung aufgebaut, die eine Gierratenbedämpfung erforderlich macht.

Ein solches Beispiel zeigt Fig. 4.

Hier wird der Eingriff der untersteuernd wirkenden Dämpfereinstellung bereits zum Zeitpunkt 78 eingeleitet, wo die Gierrate noch nicht den Nullpunkt geschnitten hat. Der Betrag des Gradienten 80 der Fahrzeuggierate 72 übersteigt aber den Betrag des Gradienten 81 der Referenzgierate 71. Die vorgezogene Dämpfersteuerung sorgt auch bei abrupten Lenkvorgaben durch den Fahrer (angedeutet in Fig. 4) für eine gute Bedämpfung der Gierratenüberhöhung (Zeitpunkt 79).

In Fig. 5 ist die Folge von Links- nach Rechtskurve anhand eines stilisierten Fahrzeugs 100 mit den Vorderrädern 101 und 102 (Vorderräder = lenkende Räder, Lenkwinkel durch Stellung der Räder angedeutet) sowie den Hinterrädern 103 und 104 in den zeitlich und räumlich aufeinanderfolgenden Phasen 110 bis 115 dargestellt.

Der Fahrer versucht bei dem Manöver, dem durch die Linie 130 skizzierten Kurs in Pfeilrichtung zu folgen.

Die dünn bzw. dick gestrichelten Kreise um die Räder geben die jeweilige Dämpferansteuerung in den einzelnen Phasen wieder. Ein dünner Kreis bedeutet, dass der Dämpfer des betreffenden Rades hart geschaltet ist. Ein dicker Kreis zeigt eine weiche Dämpfercharakteristik an. Der Dämpfer eines Rades ohne Kreis ist neutral geschaltet.

In der Phase 110 versucht der Fahrer in die Linkskurve zu lenken und wird dabei unterstützt, indem die Lenkfähigkeit des Fahrzeugs erhöht wird. Dies geschieht durch weiche Dämpfereinstellung vorn und harte Einstellung hinten.

In Phase 111 hat das Fahrzeug eine hinreichend hohe Gierrate aufgebaut und der Gradient der Gierrate $\dot{\psi}$, also die Gierbeschleunigung $\ddot{\psi}$, überschreitet den Gradienten $\ddot{\psi}_{ref}$ der Referenzgierrate $\dot{\psi}_{ref}$. Nun wird das Fahrzeug in seiner Linksdrehung bedämpft, indem ihm ein Untersteuerverhalten aufgeprägt wird. Dies geschieht durch weiche Dämpfereinstellung hinten und harte Einstellung vorn.

In Phase 112 dreht das Fahrzeug noch in die Linksrichtung (Gierrate 120), als der Fahrer bereits einen negativen Lenkwinkel eingestellt hat, also die Rechtsdrehung einleiten will. Es liegt also sowohl ein Übersteuern bzgl. der noch vollzogenen Linksdrehung als auch ein Untersteuern bzgl. der angeforderten Rechtsdrehung vor. In dieser Phase muss zunächst die Hinterachse des Fahrzeugs stabilisiert werden, damit diese die Linksdrehung abbauen kann.

Dazu wird abhängig von definierten Schwellen entweder ein untersteuerndes oder neutrales Fahrzeugverhalten durch die Dämpfereinstellung erzwungen. Wenn die Gierrate $\dot{\psi}$ nicht mehr zunimmt, der Gradient $\ddot{\psi}$ also negativ ist, wird umgeschaltet auf eine übersteuernde Charakteristik, damit die Vorderachse ein erhöhtes Lenkmoment umsetzen und das Fahrzeug in die neue Rechtsrichtung steuern kann (Phase 113). Aufgrund des hochdynamischen Wechselmanövers ist anschließend in den Phasen 114 und 115 mit einer hohen Gierrate $\dot{\psi}$ in Rechtsrichtung zu rechnen, so dass das Fahrzeug dann wieder eine untersteuernde Charakteristik aufgeprägt bekommt.

Weitere Ausführungsformen der Erfindung bestehen im Falle von kontinuierlich einstellbaren Dämpfern darin, dass alle Maßnahmen der adaptiven Dämpfersteuerung nicht rein digital zwischen zwei Schaltstufen 'weich' oder 'hart' sondern analog erfolgen.

Die analogen Dämpferwerte werden dazu als Funktionen der fahrdynamisch relevanten Größen berechnet, die aus dem ESP bekannt sind. Diese Dämpferwerte können mit anderen Ansteuerwerten, die Resultat von weiteren implementierten Regelstrategien sind, zeitlich exklusiv oder anteilig über Mischungsverhältnisse überlagert werden.

Im Beispiel von Fig. 4 wurde gezeigt, dass in hochdynamischen Fahrsituationen ein schnelles Umschalten der Dämpfercharakteristik erforderlich ist. Die Umsetzung dieser Strategie wird erschwert, wenn langsam reagierende Stellglieder zum Einsatz kommen und/oder die Befehle zum Steuern der Stellglieder über Datenbussysteme verschickt werden.

Bei allen o.a. Maßnahmen werden daher erfindungsgemäß die aus Übertragungszeiten resultierende Totzeit T_T sowie die Verzugszeit T_V der Verstelldämpfer in Rechnung gestellt, um aus regelungstechnischer Sicht nicht in Gegenphase zu regeln.

Dazu werden die o.a. Schwellenanforderungen zusätzlich als Funktionen von T_T und T_V ausgeführt. Prinzipiell gilt, dass mit zunehmender Summenzeit $T_T + T_V$ die Schwellen verringert werden, um die Entscheidung für eine Verstellmaßnahme zeitlich nach vorn zu verschieben. Damit wird der aus T_T und T_V resultierende Zeitverzug zumindest teilweise kompensiert.

Um die technische Umsetzung der o.a. Regelstrategien darzustellen, zeigen die Fig. 6 bis 10 ein erfindungsgemäßes Realisierungsbeispiel.

In Fig. 6 ist das Blockschaltbild einer Vorrichtung dargestellt, die aus den vom ESP kommenden Eingangssignalen auf Leitung 201 mit Hilfe der Schaltung 200 (s. detailliertes Schaltbild in Fig. 7) als weitere Signale die Referenzgierrate $\dot{\psi}_{ref}$, deren Ableitung $\ddot{\psi}_{ref}$ sowie die Ableitung $\dot{\psi}$ der gemessenen Gierrate $\dot{\psi}$ bildet und diese auf Leitung 203 ausgibt. Zusätzlich benötigt die Vorrichtung 200 noch die fahrzeugspezifischen Parameter auf Leitung 208.

Mittels eines Zustandsautomaten 230 (s. detailliertes Zustandsdiagramm in Fig. 10) werden die Signale $\dot{\psi}_{ref}, \ddot{\psi}_{ref}, \dot{\psi}, \ddot{\psi}, \alpha_y$ auf den Leitungen 201 und 203 dazu benutzt, um die jeweils vorliegende Fahrsituation zu bestimmen. Der aktive Zustand (System will mit Dämpfersteuerung eingreifen) wird durch das Aktiv-Flag auf Leitung 205 angezeigt, auf Leitung 204 werden Unter- oder Übersteuersituationen mit dem Flag U/O (Understeering / Oversteering) unterschieden: im Falle eines Untersteuerns ist das Flag 1, bei Übersteuern 0. Der neutrale Zustand wird durch das Neutral-Flag dargestellt, welches 0 wird, wenn ein Über- oder Untersteuern vorliegt, und den Wert 1 bei neutralem Lenkverhalten annimmt.

Über Kennlinien und eine Zeitsteuerung im Block 220 (s. detailliertes Schaltbild in Fig. 9) wird anhand der fahrdynamisch relevanten Eingangsgrößen auf den Leitungen 201 und 203 sowie des Aktiv-Flags auf Leitung 205 festgestellt, wie kritisch der vorliegende Fall aus fahrdynamischer Sicht ist. Aus der Gesamtbetrachtung resultiert ein Faktor λ , der Werte von 0 (völlig unkritisch) bis 1 (sehr kritisch) annehmen kann. Im vorliegenden Realisierungsbeispiel hat der Faktor λ die Bedeutung eines Mischungsverhältnisses für eine analoge aus fahrdynamischer Sicht optimierte Dämpferansteuerung, die dem Grundprinzip der Skyhookregelung anteilig überlagert wird. Daher wird λ über die Leitung 206 zur Überlagerungseinrichtung 210 (s. detailliertes Schaltbild in Fig. 8) geschickt, die aus λ , der Steuerinformation auf Leitung 204 sowie den Stromgrundwerten $I_{max}, I_{min}, I_{neutral}$ auf Leitung 209 für alle 4 Radkreise Stromwerte berechnet, die aus Sicht des ESP sinnvoll sind. Diese werden dann radweise mit den 4 Stromwerten auf Leitung 202 überlagert, die Ergebnis einer Skyhookregelung sein können, die nicht Gegenstand dieser Anmeldung ist. Die 4 Summenstromwerte $I(4)$ gelangen dann

über Leitung 207 zu den 4 Stoßdämpfern der Räder und werden beispielsweise dort über entsprechende Treiberschaltungen in physikalische Ströme umgesetzt.

Fig. 7 stellt die Bildung der benötigten Signale dar (Realisierung von Block 200 aus Fig. 6).

Aus dem Lenkwinkel auf Leitung 255, der geschätzten Fahrzeuglängsgeschwindigkeit auf Leitung 256 sowie einigen fahrzeugspezifischen Parametern auf Leitung 258, aus denen sich der Eigenlenkgradient EG berechnen lässt, ergibt sich nach der Formel in Block 250 die Referenzgierrate auf Leitung 266, aus der mit Hilfe des Differenzierglieds 260 noch die Referenzgierbeschleunigung auf Leitung 265 berechnet wird.

Die Fahrzeugparameter auf Leitung 258 können für ein bestimmtes Fahrzeug fest vorgegeben oder während des Betriebs dynamisch vom ESP geschätzt werden.

Über ein weiteres Differenzierglied 261 wird die gemessene Fahrzeuggierrate auf Leitung 257 benutzt, um auch die tatsächliche Gierbeschleunigung auf Leitung 267 zu bestimmen.

Fig. 8 zeigt eine beispielhafte Realisierung für die Überlagerungseinrichtung 210 aus Fig. 6.

Mit Hilfe der Schalter 320, 325 (für die Vorderräder) und 321 und 326 (für die Hinterräder) werden die Signale 'U/O' (1 bei Untersteuern, 0 bei Übersteuern) auf Leitung 355 sowie 'Neutral' auf Leitung 354 ausgewertet, um geeignete Grundstromwerte für die Dämpfer der 4 Räder in Abhängigkeit des im Automaten 230 von Fig. 6 ermittelten Fahrzustands auszuwählen.

Diese Grundstromwerte bewirken die gewünschte Dämpfercharakteristik, wobei gelten soll, dass ein maximaler Strom I_{\max} (auf Leitung 360 für die Vorderräder, auf Leitung 363 für die Hinterräder) den jeweiligen Dämpfer hart, ein mittlerer Strom I_{neutral} (auf Leitung 366 für die Vorderräder, auf Leitung 368 für die Hinterräder) den jeweiligen Dämpfer neutral und ein minimaler Strom I_{\min} (auf Leitung 361 für die Vorderräder, auf Leitung 362 für die Hinterräder) den jeweiligen Dämpfer weich schaltet.

Die durch 'U/O' und 'Neutral' ausgewählten Grundstromwerte gelangen dann auf die Leitungen 370 (für die Vorderräder) und 371 (für die Hinterräder) und werden dann mit dem auf Leitung 356 herangeführten Faktor λ mit Hilfe der Blöcke 330 und 331 multipliziert. Auf den Leitungen 375 und 376 erscheinen dann für Vorder- und Hinterräder die jeweils benötigten anteiligen Stromwerte I_{vl_esp} , I_{vr_esp} bzw.

I_{hl_esp} , I_{hr_esp} .

Der Block 340 legt den Wert '1- λ ' auf Leitung 377, mit dem dann die 4 vom Skyhookregler angeforderten Stromwerte auf den Leitungen 350 bis 353 über die Blöcke 300 bis 303 radindividuell multipliziert werden. Die Ergebnisse stellen die Stromanteile vom Skyhookregler dar und gelangen auf die Leitungen 380 bis 383. Nun werden mit den Addiergliedern 310 bis 313 die ESP- und Skyhook-Stromanteile additiv überlagert und über die Ausgangsleitungen 390 bis 393 zu den Dämpfern geschickt.

Auf diese Weise wird in unkritischen Fällen (λ 0 oder $\ll 1$) fast nur der Skyhookanteil umgesetzt und somit ein komfortables Fahrverhalten erzielt. In kritischen Fällen ($\lambda = 1$ oder fast 1) überwiegt der ESP-Anteil und ermöglicht dem Fahrer ein gutes Handling bei reduziertem Dämpfungskomfort.

Fig. 9 zeigt ein Realisierungsbeispiel für die Berechnung des Mischungsfaktors λ , also des Blocks 220 aus Fig. 6.

Dazu werden hier die Maximalwerte einiger fahrdynamisch relevanter Größen aus dem ESP über die Leitungen 400 bis 402 herangeführt. Über die Blöcke 420 bis 422 werden die Beträge der Signale gebildet und über die Leitungen 415 bis 417 auf die Blöcke 420 bis 422 gelegt, die eine Maximumsbildung durchführen zwischen den aktuellen Werten auf 415 bis 417 und den gespeicherten früheren Maximumswerten auf den Leitungen 450 bis 452. Die neuen Maxima werden auf die Leitungen 425 bis 427 geschaltet und über den Systemtakt auf Leitung 405 zu definierten Zeiten (mit der positiven Flanke des Takts) in die zugehörigen Speicherzellen 430 bis 432 übernommen. Die gespeicherten Maximalwerte erscheinen dann auf den Ausgangsleitungen 435 bis 437. Um eine Vergesslichkeitsfunktion zu realisieren, werden diese Werte mit Hilfe der Subtrahierglieder 440 bis 442 um die kleinen Delta-Beträge auf den Leitungen 455 bis 457 reduziert. Die Ergebnisse erscheinen wiederum auf den Leitungen 450 bis 452 und werden wieder mit den aktuellen Beträgen der fahrdynamisch relevanten Signale (400 bis 401) verglichen. Solange die Eingangssignale 400 bis 402 ansteigen, werden sie in die Speicherzellen 430 bis 432 übernommen. Bei kleinen Eingangssignalen werden die großen gespeicherten Werte mit jedem Systemtakt um die Delta-Werte 455 bis 457 reduziert. Auf diese Weise wird das Auftreten einer hohen Fahrdynamik nach einer definierten Zeit vergessen, da derartige Ereignisse auch nur in einer gewissen Folgezeit relevant sind. Die aktuellen Fahrdynamikwerte 450 bis 452 werden über Bewertungsfunktionen 460 bis 462 in Werte von 0 bis 1 klassifiziert und diese über die Leitungen 465 bis 467 dem lock 470 zugeführt, der das Maximum der Werte auf Leitung 475 schaltet.

Da die ausgewerteten Signale 400 bis 402 nur bei höheren Geschwindigkeiten relevant sind, erfolgt eine weitere Bewertung der Situation durch den Block 480, der das auf Leitung 403 herangeführte geschätzte Längsgeschwindigkeitssignal ebenfalls in einen Wert von 0 bis 1 überführt, der auf Leitung 485 mit Hilfe des Blocks 490 multipliziert wird. Das Ergebnis auf Leitung 495 wird dann noch mit dem Aktiv-Signal auf Leitung 404 (von Block 230 aus Fig. 6 kommend) über den Block 491 multipliziert. Das Ergebnis auf Leitung 496 stellt den Faktor λ dar.

Fahrsituationserkennung:

Die Regelstrategie zur phasengenauen Dämpfersteuerung beinhaltet der Block 230 in Fig. 6 und ist als Zustandsautomat in Fig. 10 beschreiben.

Im Folgenden wird eine Fahrsituationserkennung erläutert, anhand derer das Verhalten von kontinuierlich verstellbaren Dämpfern eingestellt und dadurch Einfluss auf das Fahrverhalten des Fahrzeugs genommen wird.

Werden die Vorderachsdämpfer weich und die Hinterachsdämpfer hart geschaltet, so wird die Hinterachse bei dynamischen Manövern destabilisiert, sprich die Seitenkraftabstützung an der Hinterachse ist kleiner als an der Vorderachse. Das Fahrzeug neigt zum Übersteuern, die Lenkbarkeit wird unterstützt.

Umgekehrt verhält es sich, wenn man die Vorderachsdämpfer hart und die Hinterachsdämpfer weich stellt. Das Fahrzeug neigt zum Untersteuern, die Stabilisierung des Fahrzeugs wird unterstützt.

Fig. 10 stellt anhand eines Zustandsgraphen den erfindungsgemäßen Ablauf der Steuerungsaktivitäten dar.

Das Fahrzeug befindet sich zunächst im Zustand 'Unkritisch', dadurch gekennzeichnet, dass folgende Bedingungen erfüllt sind:

$$|\dot{\psi}_{ref} - \dot{\psi}| < \varepsilon_1 \quad \text{und} \quad |\ddot{\psi}_{ref} - \ddot{\psi}| < \varepsilon_2 \quad \text{und} \quad |a_y| < \varepsilon_4$$

In diesem Zustand bleibt die Komfort-Regelung der Dämpfer aktiviert (nur in diesem Zustand) und aus dem ESP heraus werden keine Einstellungen bezüglich der Dämpfer angefordert.

Fährt der Fahrzeugführer quasi statisch in eine Kurve und überschreitet die Querbeschleunigung einen bestimmten Schwellwert, dann geht man über in den Zustand 'Neutral'.

$$(502) \quad |\dot{\psi}_{ref} - \dot{\psi}| < \varepsilon_1 \quad \text{und} \quad |\ddot{\psi}_{ref} - \ddot{\psi}| < \varepsilon_2 \quad \text{und} \quad |a_y| > \varepsilon_4$$

Die Dämpfer werden neutral geschaltet und somit die Komfort-Regelung der Dämpfer deaktiviert.

Kommt man aufgrund der abnehmenden Querbeschleunigung vom Zustand 'Neutral' in den Zustand 'Unkritisch', kann der Gradient der Fahrzeuggierrate $\ddot{\psi}$ größer sein als der Gradient der Referenzgierrate $\ddot{\psi}_{ref}$ bei Änderung der Lenkvorgabe in entgegengesetzte Richtung. Ist die Bedingung

$$(503) \quad \ddot{\psi}_{ref} \leq \ddot{\psi} \quad \text{und} \quad \ddot{\psi} > \varepsilon_3$$

erfüllt, geht man über in den Zustand 'Übersteuern in der Linkskurve'.

Die Dämpfer werden so geschaltet, dass die Stabilisierung des Fahrzeugs unterstützt wird.

Ist hingegen die Bedingung

$$(504) \quad \ddot{\psi}_{ref} \geq \ddot{\psi} \quad \text{und} \quad \ddot{\psi} < -\varepsilon_3$$

erfüllt, geht man über in den Zustand 'Übersteuern in der Rechtskurve'.

Die Dämpfer werden so geschaltet, dass die Stabilisierung des Fahrzeugs unterstützt wird.

Liegt der Zustand 'Neutral' vor und wird Bedingung (552) erfüllt, d.h. die Querbeschleunigung sinkt unter ein Mindestmaß

$$(552) \quad |\dot{\psi}_{ref} - \dot{\psi}| < \varepsilon_1 \quad \text{und} \quad |\ddot{\psi}_{ref} - \ddot{\psi}| < \varepsilon_2 \quad \text{und} \quad |a_y| < \varepsilon_5$$

dann geht man wieder über in den Zustand 'Unkritisch'.

Durch die unterschiedlichen Schwellen ε_4 und ε_5 wird ein unnötiges Hin- und Herschalten zwischen den Zuständen 'Unkritisch' und 'Neutral' vermieden.

Die Komfort-Regelung der Dämpfer kann wieder aktiviert werden.

Kann das Fahrzeug dem Sollverlauf gut folgen und wurde die Querschleunigung noch nicht abgebaut, so befindet man sich im Zustand 'Neutral'. Aufgrund einer neuen Lenkvorgabe entgegen der alten Richtung gelangt man mit der Bedingung

$$(553) \quad \ddot{\psi}_{ref} \leq \ddot{\psi} \quad \text{und} \quad \ddot{\psi} > \varepsilon_3$$

in den Zustand 'Übersteuern in der Linkskurve' beziehungsweise mit der Bedingung

$$(554) \quad \ddot{\psi}_{ref} \geq \ddot{\psi} \quad \text{und} \quad \ddot{\psi} < -\varepsilon_3$$

in den Zustand 'Übersteuern in der Rechtskurve'.

Die Dämpfer werden jeweils so geschaltet, dass die Stabilisierung des Fahrzeugs unterstützt wird.

Vollführt der Fahrer ein Lenkmanöver, bei dem das Fahrzeug nicht mehr dem vorgegebenen Referenzverhalten folgen kann, sprich sind die folgenden Bedingungen erfüllt:

$$(500) \quad \ddot{\psi}_{ref} > \ddot{\psi} + \varepsilon_1 \quad \text{und} \quad \ddot{\psi}_{ref} > \ddot{\psi} + \varepsilon_2$$

geht man über in den Zustand 'Untersteuern in der Linkskurve'. Es wird ein Übersteuersignal an die Dämpfer geschickt, um die Lenkbarkeit zu unterstützen.

Wird die Lenkvorgabe beibehalten, divergieren die Gradienten der Gierraten zunächst, da das Fahrzeug träge in seinem Verhalten ist. Allerdings wird das Fahrzeug nach einer gewissen Zeit der Vorgabe folgen können, oder eine neue Lenkrichtung wird vorgegeben. Die Bedingung, dass der Gradient der Fahrzeuggierrate $\ddot{\psi}$ größer wird als der Gradient der Referenzgierrate $\ddot{\psi}_{ref}$ (510) liegt vor. Ein Übersteuern in der Linkskurve wird erkannt, wenn

$$(510) \quad \ddot{\psi}_{ref} \leq \ddot{\psi} \quad \text{und} \quad \ddot{\psi} > \varepsilon_3$$

erfüllt ist.

Die Dämpfer werden so geschaltet, dass die Stabilisierung des Fahrzeugs unterstützt wird.

Wird jedoch der Gradient der Referenzgierrate $\ddot{\psi}_{ref}$ wieder größer als der Gradient der Fahrzeuggierrate $\ddot{\psi}$, dann liegt ein Untersteuern in der Linkskurve vor (530).

Die Dämpfer werden so geschaltet, dass die Lenkbarkeit unterstützt wird.

$$(530) \quad \ddot{\psi}_{ref} > \ddot{\psi}$$

Befindet sich das Fahrzeug aber noch im Zustand 'Übersteuern in der Linkskurve', werden die Dämpfer so geschaltet, dass die Stabilisierung unterstützt wird. Nimmt der Gradient der Fahrzeuggierrate $\ddot{\psi}$ ab und wird die folgende Bedingung erfüllt,

$$(531) \quad \cancel{(-\ddot{\psi} \leq \varepsilon_3)} \quad \ddot{\psi} \leq \varepsilon_3$$

dann wird übergegangen in den Zustand 'Neutral'. Hier wartet man ab, wie das Fahrzeug reagiert.

Die Dämpfer werden neutral geschaltet, sodass das Über-/Untersteuern nicht begünstigt wird.

Liegt jedoch der Fall vor, dass die Referenzgierrate $\dot{\psi}_{ref}$ wieder über der Fahrzeuggierrate $\dot{\psi}$ liegt, d.h. es wurde wieder in die gleichen Richtung weitergelenkt (links) und ist Bedingung

$$(550) \quad \dot{\psi}_{ref} > \dot{\psi} \pm \varepsilon_1 \quad \text{und} \quad \ddot{\psi}_{ref} > \ddot{\psi} + \varepsilon_2$$

erfüllt, dann liegt wieder der Zustand 'Untersteuern in der Linkskurve' vor.

Befindet sich das Fahrzeug noch im Zustand 'Neutral' und weichen die Gierraten und die Gradienten der Gierraten so von einander ab, dass die Bedingung (551) erfüllt wird,

$$(551) \quad \dot{\psi}_{ref} < \dot{\psi} - \varepsilon_1 \quad \text{und} \quad \ddot{\psi}_{ref} < \ddot{\psi} - \varepsilon_2$$

dann geht das Fahrzeug über in den Zustand 'Untersteuern in der Rechtskurve'. Die Dämpfer werden so geschaltet, dass die Lenkbarkeit unterstützt wird.

Wird die Lenkvorgabe beibehalten, divergieren die Gradienten der Gierraten, da das Fahrzeug träge in seinem Verhalten ist. Allerdings wird das Fahrzeug nach einer gewissen Zeit der Vorgabe folgen können, oder eine neue Lenkrichtung wird vorgegeben. Die Bedingung, dass der Gradient der Fahrzeuggierrate $\ddot{\psi}$ kleiner wird als der Gradient der Referenzgierrate $\ddot{\psi}_{ref}$ (520) liegt vor. Ein Übersteuern in der Rechtskurve wird erkannt.

$$(520) \quad \ddot{\psi}_{ref} \geq \ddot{\psi} \quad \text{und} \quad \ddot{\psi} < -\varepsilon_3$$

Die Dämpfer werden so geschaltet, dass das Fahrzeug stabilisiert wird.

Wird jedoch der Gradient der Referenzgierrate $\ddot{\psi}_{ref}$ kleiner als der Gradient der Fahrzeuggierrate $\ddot{\psi}$, dann liegt wieder ein Untersteuern in der Rechtskurve vor (540).

$$(540) \quad \ddot{\psi}_{ref} < \ddot{\psi}$$

Die Dämpfer werden so geschaltet, dass die Lenkbarkeit unterstützt wird.

Befindet sich das Fahrzeug aber noch im Zustand 'Übersteuern in der Rechtskurve', dann werden die Dämpfer so geschaltet, dass die Stabilisierung unterstützt wird. Nimmt der Gradient der Fahrzeuggierrate $\dot{\psi}$ ab und wird die folgende Bedingung erfüllt,

$$(541) \quad -\varepsilon_3 \leq \ddot{\psi} < 0$$

dann wird übergegangen in den Zustand 'Neutral'. Hier wartet man ab, wie das Fahrzeug reagiert.

Die Dämpfer werden neutral geschaltet, sodass das Über-/Untersteuern nicht begünstigt wird.

Aus dem Zustand 'Neutral' gelangt man über die Bedingung (550) in den Fahrzustand 'Untersteuern in der Linkskurve' bzw. über Bedingung (551) in der Fahrzustand 'Untersteuern in der Rechtskurve'.

Liegt der Zustand 'Untersteuern in der Linkskurve' vor und unterscheiden sich die Gierraten und Gradienten der Gierraten kaum (511)

$$(511) \quad |\dot{\psi}_{ref} - \dot{\psi}| < \varepsilon_1 \quad \text{und} \quad |\ddot{\psi}_{ref} - \ddot{\psi}| < \varepsilon_2$$

dann geht man wieder über in den Zustand 'Neutral'.

Liegt der Zustand 'Untersteuern in der Rechtskurve' vor und unterscheiden sich die Gierraten und Gradienten der Gierraten kaum (521)

$$(521) \quad |\dot{\psi}_{ref} - \dot{\psi}| < \varepsilon_1 \quad \text{und} \quad |\ddot{\psi}_{ref} - \ddot{\psi}| < \varepsilon_2$$

dann geht man wieder über in den Zustand 'Neutral'.

Damit die Dämpfer gemäß der beschriebenen Strategie angesteuert werden, erfolgt in jedem Zustand das Setzen bzw. Zurücksetzen der Steuerflags 'U/O', 'Neutral' und 'Aktiv' in der nachfolgend dargestellten Weise:

Zustand 'Unkritisch':

U/O	= 0 oder 1
Neutral	= 0 oder 1
Aktiv	= 0

Zustand 'Neutral':

U/O	= 0 oder 1
Neutral	= 1
Aktiv	= 1

Zustand 'Untersteuern links':

U/O	= 1
Neutral	= 0

Aktiv = 1

Zustand 'Untersteuern rechts':

U/O = 1

Neutral = 0

Aktiv = 1

Zustand 'Übersteuern links':

U/O = 0

Neutral = 0

Aktiv = 1

Zustand 'Übersteuern rechts':

U/O = 0

Neutral = 0

Aktiv = 1

Kurzbeschreibung der Figuren:

Fig. 1 zeigt eine einfache Grundstrategie zur Dämpfersteuerung, die noch nicht in allen Situationen phasengenau arbeitet.

Fig. 2 zeigt eine verbesserte Grundstrategie, die zu einer phasengenaueeren Dämpfersteuerung führt.

Fig. 3 zeigt eine gegenüber Fig. 2 erweiterte Strategie, die zu einer verbesserten Dämpfersteuerung vor allem bei hoher Fahrdynamik führt.

Fig. 4 zeigt eine gegenüber Fig. 3 nochmals verbesserte Strategie, die in manchen Phasen noch früher zu einer fahrzeugstabilisierenden Dämpfersteuerung führt.

Fig. 5 zeigt als beispielhafte Fahrsituation einen Spurwechsel und die nach der Strategie aus Fig. 4 jeweils angestrebte Dämpfersteuerung.

Fig. 6 zeigt das Blockbild einer beispielhaften Vorrichtung zur Realisierung der Strategie aus Fig. 4, bestehend aus einer Signalaufbereitung, einem Block zur Beurteilung der Dynamik des Fahrmanövers, einem Block zur Koordination und Überlagerung der Strategie mit anderen Strategien (Beispiel: Skyhookregelung), sowie einem Block, der einen Zustandsautomaten zur Erkennung der Fahrsituation beinhaltet.

Fig. 7 zeigt eine Vorrichtung zur Berechnung der benötigten Signale.

Fig. 8 zeigt eine beispielhafte Vorrichtung zur anteilmäßigen Überlagerung verschiedener Dämpfersteuerungs-Strategien, wobei die Anforderung nach dem hier vorgestellten Konzept der Anforderung einer (hier nicht beschriebenen) Skyhook-Regelstrategie überlagert wird.

Fig. 9 zeigt eine beispielhafte Vorrichtung zur Realisierung des Blocks 'Zeitsteuerung mit Kennlinienfeld' aus Fig. 6.

Fig. 10 zeigt die Realisierung des Zustandsautomaten aus Fig. 6, der die Phasen und Fahrzustände der in Fig. 4 dargestellten Regelstrategie zur phasengenauen Dämpfersteuerung erkennt und entsprechende Steuersignale generiert.

Patentansprüche:

1. Verfahren zur Steuerung und Regelung von digital oder analog einstellbaren Stoßdämpfern, vorzugsweise in einem zweiachsigen Straßenfahrzeug, wobei die Dämpfer situationsabhängig so angesteuert werden, dass im Untersteuerfall die Lenkfähigkeit, im Übersteuerfall die Fahrstabilität erhöht wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass zur frühzeitigen Reaktion die Abweichung zwischen einer nach dem linearen Einspurmodell bestimmten Referenzgierrate und der tatsächlich gemessenen Gierrate des Fahrzeugs sowie die Differenz der Gradienten der beiden Gierraten, also der Referenzgierbeschleunigung und tatsächlichen Gierbeschleunigung des Fahrzeugs, verwendet werden, um phasengenaue Umschaltzeitpunkte zu definieren, zwischen denen die Dämpfer der 4 Räder in Stufen oder kontinuierlich hart oder weich geschaltet werden
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Regelungskonzept Teil einer heutigen ESP-Regelstrategie ist, ggf. auf einem Steuergerät des ESP implementiert ist und die Signale des heutigen ESP mit verwendet werden (daher wird für das hier vorgestellte Konzept im Folgenden der Begriff ESP-Dämpfersteuerung verwendet)
3. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Untersteuerverhalten in der Linkskurve daran erkannt wird, dass die Bedingung $\dot{\psi}_{ref} > \dot{\psi} + \varepsilon_1$ und $\ddot{\psi}_{ref} > \ddot{\psi} + \varepsilon_2$ erfüllt ist, und dass ein Untersteuerverhalten in der Rechtskurve daran erkannt wird, dass die Bedingung $\dot{\psi}_{ref} < \dot{\psi} - \varepsilon_1$ und $\ddot{\psi}_{ref} < \ddot{\psi} - \varepsilon_2$ erfüllt ist, und dass bei erkanntem Untersteuerverhalten in einer beliebigen der beiden Richtungen die Dämpfer der Vorderräder weich, die der Hinterräder hart geschaltet werden
4. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Übersteuerverhalten bzgl. einer Linkskurve daran erkannt wird, dass die Bedingung $\ddot{\psi}_{ref} \leq \ddot{\psi}$ und $\dot{\psi} > \varepsilon_3$ erfüllt ist, und dass ein Übersteuerverhalten bzgl. einer Rechtskurve daran erkannt wird, dass die Bedingung $\ddot{\psi}_{ref} \geq \ddot{\psi}$ und $\dot{\psi} < -\varepsilon_3$ erfüllt ist, und dass bei erkanntem Übersteuerverhalten in einer beliebigen der beiden Richtungen die Dämpfer der Vorderräder hart, die der Hinterräder weich geschaltet werden
5. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein neutrales Verhalten des Fahrzeugs erkannt wird, wenn nach dem Auftreten

eines Untersteuerverhaltens die Bedingung $|\dot{\psi}_{ref} - \dot{\psi}| < \varepsilon_1$ und $|\ddot{\psi}_{ref} - \ddot{\psi}| < \varepsilon_2$ erfüllt ist oder nach dem Auftreten eines Übersteuerverhaltens die Bedingung $-\varepsilon_3 \leq \ddot{\psi} \leq \varepsilon_3$ erfüllt ist oder nach dem Auftreten eines unkritischen Verhaltens die Bedingung $|\dot{\psi}_{ref} - \dot{\psi}| < \varepsilon_1$ und $|\ddot{\psi}_{ref} - \ddot{\psi}| < \varepsilon_2$ und $|\alpha_y| > \varepsilon_4$ erfüllt ist, und dass bei erkanntem Neutralverhalten die Dämpfer der Vorderräder und Hinterräder gleichermaßen auf eine mittlere bis hohe Dämpfung geschaltet werden

6. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass ein unkritisches Fahrverhalten nach dem Auftreten eines neutralen Verhaltens dadurch erkannt wird, dass die Bedingung $|\dot{\psi}_{ref} - \dot{\psi}| < \varepsilon_1$ und $|\ddot{\psi}_{ref} - \ddot{\psi}| < \varepsilon_2$ und $|\alpha_y| < \varepsilon_5$ erfüllt ist, und dass bei erkanntem unkritischem Verhalten die Dämpfer wieder in den Zustand geschaltet werden, der der verwendeten Standard-Regelstrategie entspricht
7. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Dämpfung der Stoßdämpfer nicht nur in den diskreten Stufen weich, mittel, hart, sondern kontinuierlich erfolgt, wobei das Dämpfungsmaß von der jeweiligen Fahrsituation abhängt
8. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass das Maß der kontinuierlich eingestellten Dämpfung abhängt von der Dynamik der jeweiligen Fahrsituation, wobei als relevante Signale zur Beurteilung der Fahrdynamik die Gierrate und/oder die Gierbeschleunigung des Fahrzeugs, die Referenz-Gierrate und/oder Referenz-Gierbeschleunigung sowie die Querbeschleunigung des Fahrzeugs (im Schwerpunkt, an der Vorderachse und/oder an der Hinterachse) verwendet werden
9. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Beträge der zur Beurteilung der Fahrdynamik verwendeten Signale mittels der Längsgeschwindigkeit des Fahrzeugs gewichtet werden
10. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass zur Beurteilung der Fahrdynamik nicht nur die aktuell zu einem Zeitpunkt gemessenen bzw. berechneten Fahrdynamiksignale verwendet werden, sondern auch der Verlauf dieser Signale innerhalb eines vergangenen Zeitintervalls $\dots \Delta T \dots$, wobei die Maximalwerte der Signale gespeichert und durch lineare oder degressive Reduzierung im Laufe der Zeit verlernt werden
11. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Ansteuerung der Dämpfer nach dem hier vorgestellten ESP-Dämpfersteuerungs-Konzept mit den Anforderungen anderer Dämpfersteuerungsmechanismen (beispielsweise Skyhook-Regelstrategie) additiv überlagert werden
12. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass das Maß der additiven Überlagerung verschiedener Anforderungen an die

Stoßdämpfer durch den Grad der erreichten Fahrdynamik festgelegt wird und dass bei hoher Fahrdynamik ein hoher Anteil bis 100% durch das ESP-Dämpfersteuerungs-Konzept vorgegeben wird, während bei geringer Fahrdynamik nur ein kleiner Anteil bis 0% durch das ESP-Dämpfersteuerungs-Konzept vorgegeben und einem entsprechend großen Anteil einer anderen Regelstrategie überlagert wird

13. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass alle Schwellen zur Bestimmung der Fahrsituation an die bei der Datenübertragung zwischen dem Regler und den Stellgliedern (Stoßdämpfern) auftretenden Totzeiten sowie die Verzugszeiten der Stellglieder angepasst werden, wobei gilt, dass bei einer größeren Summe aus Tot- und Verzugszeit kleinere Schwellen verwendet werden, damit die Reaktion des Umschaltens rechtzeitig erfolgt
14. Vorrichtung zur Steuerung und Regelung von digital oder analog einstellbaren Stoßdämpfern, vorzugsweise in einem zweiachsigen Straßenfahrzeug, wobei die Dämpfer situationsabhängig so angesteuert werden, dass im Untersteuerfall die Lenkfähigkeit, im Übersteuerfall die Fahrstabilität erhöht wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass zur frühzeitigen Reaktion die Abweichung zwischen einer nach dem linearen Einspurmodell bestimmten Referenzgierrate und der tatsächlich gemessenen Gierrate des Fahrzeugs sowie die Differenz der Gradienten der beiden Gierraten, also der Referenzgierbeschleunigung und tatsächlichen Gierbeschleunigung des Fahrzeugs, verwendet werden, um phasengenaue Umschaltzeitpunkte zu definieren, zwischen denen die Dämpfer der 4 Räder in Stufen oder kontinuierlich hart oder weich geschaltet werden
15. Vorrichtung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass das Regelungskonzept Teil einer heutigen ESP-Regelstrategie ist, ggf. in eine Vorrichtung zur ESP-Regelung integriert ist und die Signale des heutigen ESP mit verwendet werden (daher wird für das hier vorgestellte Konzept im Folgenden der Begriff ESP-Dämpfersteuerung verwendet)
16. Vorrichtung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass ein Untersteuerverhalten in der Linkskurve daran erkannt wird, dass die Bedingung $\dot{\psi}_{ref} > \dot{\psi} + \varepsilon_1$ und $\ddot{\psi}_{ref} > \ddot{\psi} + \varepsilon_2$ erfüllt ist, und dass ein Untersteuerverhalten in der Rechtskurve daran erkannt wird, dass die Bedingung $\dot{\psi}_{ref} < \dot{\psi} - \varepsilon_1$ und $\ddot{\psi}_{ref} < \ddot{\psi} - \varepsilon_2$ erfüllt ist, und dass bei erkanntem Untersteuerverhalten in einer beliebigen der beiden Richtungen die Dämpfer der Vorderräder weich, die der Hinterräder hart geschaltet werden
17. Vorrichtung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass ein Übersteuerverhalten bzgl. einer Linkskurve daran erkannt wird, dass die Bedingung $\ddot{\psi}_{ref} \leq \ddot{\psi}$ und $\dot{\psi} > \varepsilon_3$ erfüllt ist, und dass ein Übersteuerverhalten bzgl. einer Rechtskurve daran erkannt wird, dass die Bedingung $\ddot{\psi}_{ref} \geq \ddot{\psi}$ und $\dot{\psi} < -\varepsilon_3$ erfüllt ist, und dass bei erkanntem Übersteuerverhalten in einer

beliebigen der beiden Richtungen die Dämpfer der Vorderräder hart, die der Hinterräder weich geschaltet werden

18. Vorrichtung nach den Ansprüchen 14 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass ein neutrales Verhalten des Fahrzeugs erkannt wird, wenn nach dem Auftreten eines Untersteuerverhaltens die Bedingung $|\dot{\psi}_{ref} - \dot{\psi}| < \varepsilon_1$ und $|\ddot{\psi}_{ref} - \ddot{\psi}| < \varepsilon_2$ erfüllt ist oder nach dem Auftreten eines Übersteuerverhaltens die Bedingung $-\varepsilon_3 \leq \ddot{\psi} \leq \varepsilon_3$ erfüllt ist oder nach dem Auftreten eines unkritischen Verhaltens die Bedingung $|\dot{\psi}_{ref} - \dot{\psi}| < \varepsilon_1$ und $|\ddot{\psi}_{ref} - \ddot{\psi}| < \varepsilon_2$ und $|\alpha_y| > \varepsilon_4$ erfüllt ist, und dass bei erkanntem Neutralverhalten die Dämpfer der Vorderräder und Hinterräder gleichermaßen auf eine mittlere bis hohe Dämpfung geschaltet werden
19. Vorrichtung nach den Ansprüchen 14 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass ein unkritisches Fahrverhalten nach dem Auftreten eines neutralen Verhaltens dadurch erkannt wird, dass die Bedingung $|\dot{\psi}_{ref} - \dot{\psi}| < \varepsilon_1$ und $|\ddot{\psi}_{ref} - \ddot{\psi}| < \varepsilon_2$ und $|\alpha_y| < \varepsilon_3$ erfüllt ist, und dass bei erkanntem unkritischem Verhalten die Dämpfer wieder in den Zustand geschaltet werden, der der verwendeten Standard-Regelstrategie entspricht
20. Vorrichtung nach den Ansprüchen 14 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass die Dämpfung der Stoßdämpfer nicht nur in den diskreten Stufen weich, mittel, hart, sondern kontinuierlich erfolgt, wobei das Dämpfungsmaß von der jeweiligen Fahrsituation abhängt
21. Vorrichtung nach den Ansprüchen 14 bis 20, dadurch gekennzeichnet, dass das Maß der kontinuierlich eingestellten Dämpfung abhängt von der Dynamik der jeweiligen Fahrsituation, wobei als relevante Signale zur Beurteilung der Fahrdynamik die Gierrate und/oder die Gierbeschleunigung des Fahrzeugs, die Referenz-Gierrate und/oder Referenz-Gierbeschleunigung sowie die Querbeschleunigung des Fahrzeugs (im Schwerpunkt, an der Vorderachse und/oder an der Hinterachse) verwendet werden
22. Vorrichtung nach den Ansprüchen 14 bis 21, dadurch gekennzeichnet, dass die Beträge der zur Beurteilung der Fahrdynamik verwendeten Signale mittels der Längsgeschwindigkeit des Fahrzeugs gewichtet werden
23. Vorrichtung nach den Ansprüchen 14 bis 22, dadurch gekennzeichnet, dass zur Beurteilung der Fahrdynamik nicht nur die aktuell zu einem Zeitpunkt gemessenen bzw. berechneten Fahrdynamiksignale verwendet werden, sondern auch der Verlauf dieser Signale innerhalb eines vergangenen Zeitintervalls $\dots \Delta T \dots$, wobei die Maximalwerte der Signale gespeichert und durch lineare oder degressive Reduzierung im Laufe der Zeit verlernt werden

24. Vorrichtung nach den Ansprüchen 14 bis 23, dadurch gekennzeichnet, dass die Ansteuerung der Dämpfer nach dem hier vorgestellten ESP-Dämpfersteuerungs-Konzept mit den Anforderungen anderer Dämpfersteuerungsmechanismen (beispielsweise Skyhook-Regelstrategie) additiv überlagert werden
25. Vorrichtung nach den Ansprüchen 14 bis 24, dadurch gekennzeichnet, dass das Maß der additiven Überlagerung verschiedener Anforderungen an die Stoßdämpfer durch den Grad der erreichten Fahrdynamik festgelegt wird und dass bei hoher Fahrdynamik ein hoher Anteil bis 100% durch das ESP-Dämpfersteuerungs-Konzept vorgegeben wird, während bei geringer Fahrdynamik nur ein kleiner Anteil bis 0% durch das ESP-Dämpfersteuerungs-Konzept vorgegeben und einem entsprechend großen Anteil einer anderen Regelstrategie überlagert wird
26. Vorrichtung nach den Ansprüchen 14 bis 25, dadurch gekennzeichnet, dass alle Schwellen zur Bestimmung der Fahrsituation an die bei der Datenübertragung zwischen dem Regler und den Stellgliedern (Stoßdämpfern) auftretenden Totzeiten sowie die Verzugszeiten der Stellglieder angepasst werden, wobei gilt, dass bei einer größeren Summe aus Tot- und Verzugszeit kleinere Schwellen verwendet werden, damit die Reaktion des Umschaltens rechtzeitig erfolgt

Fig. 1

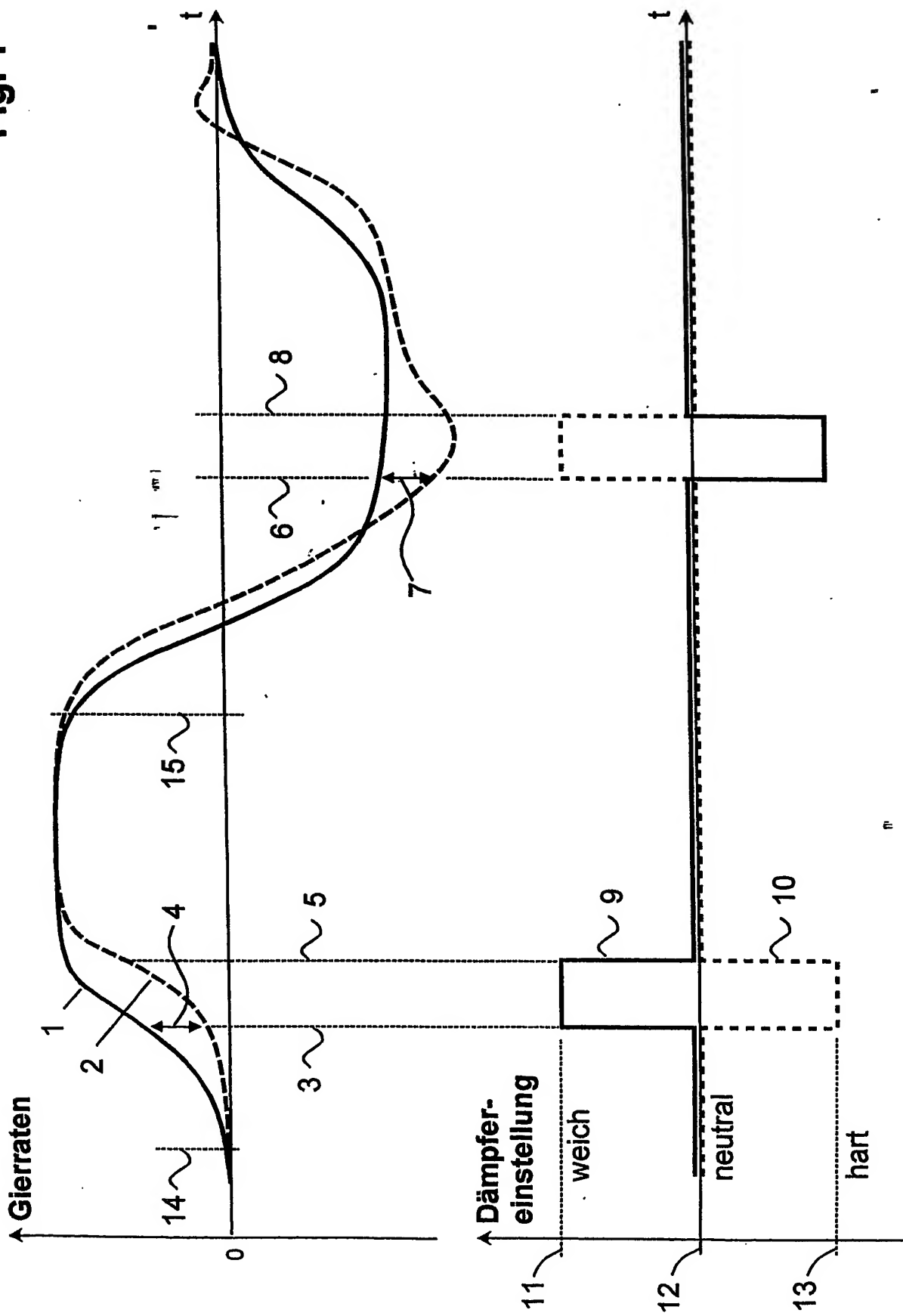


Fig. 2

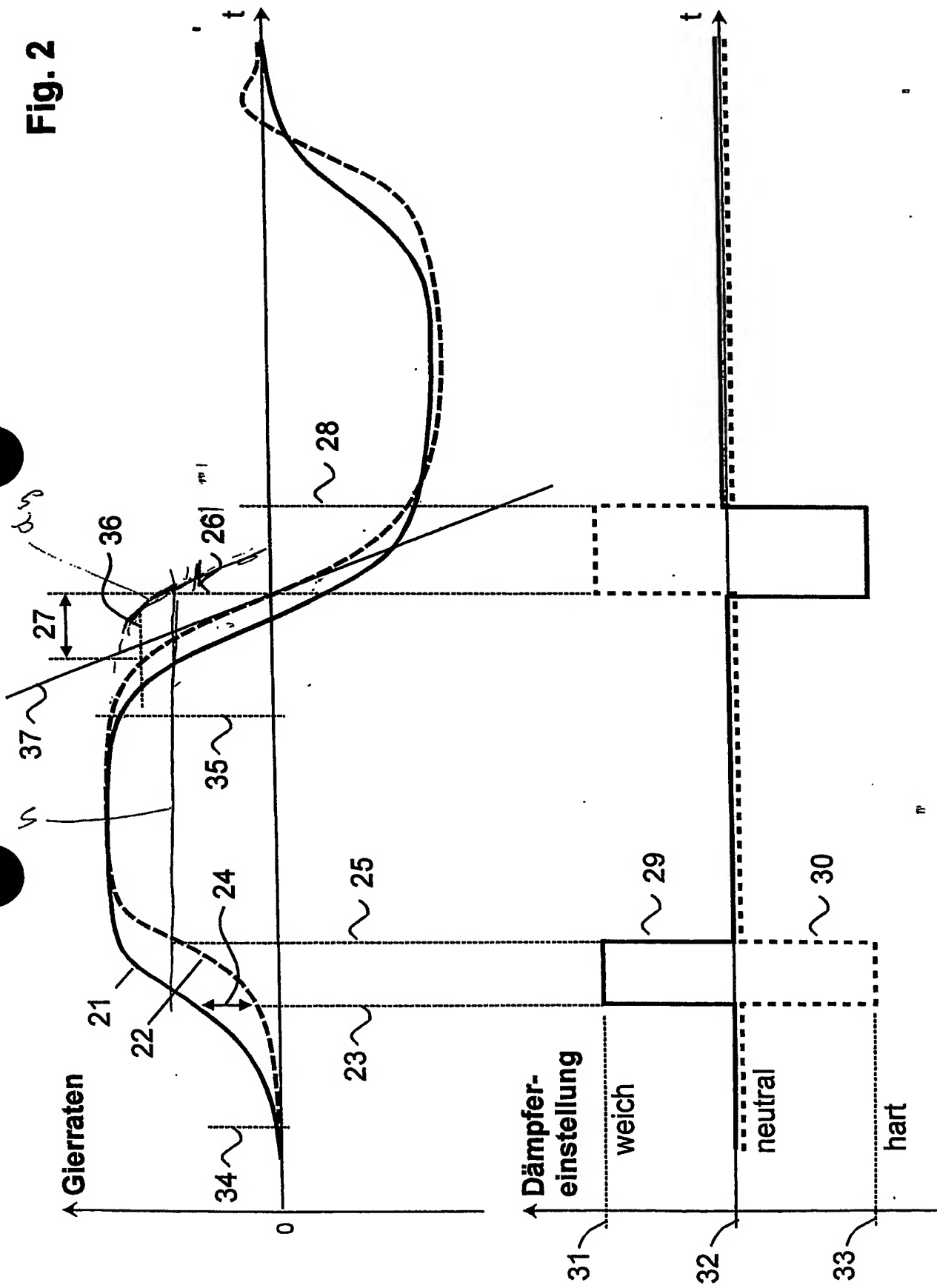


Fig. 3

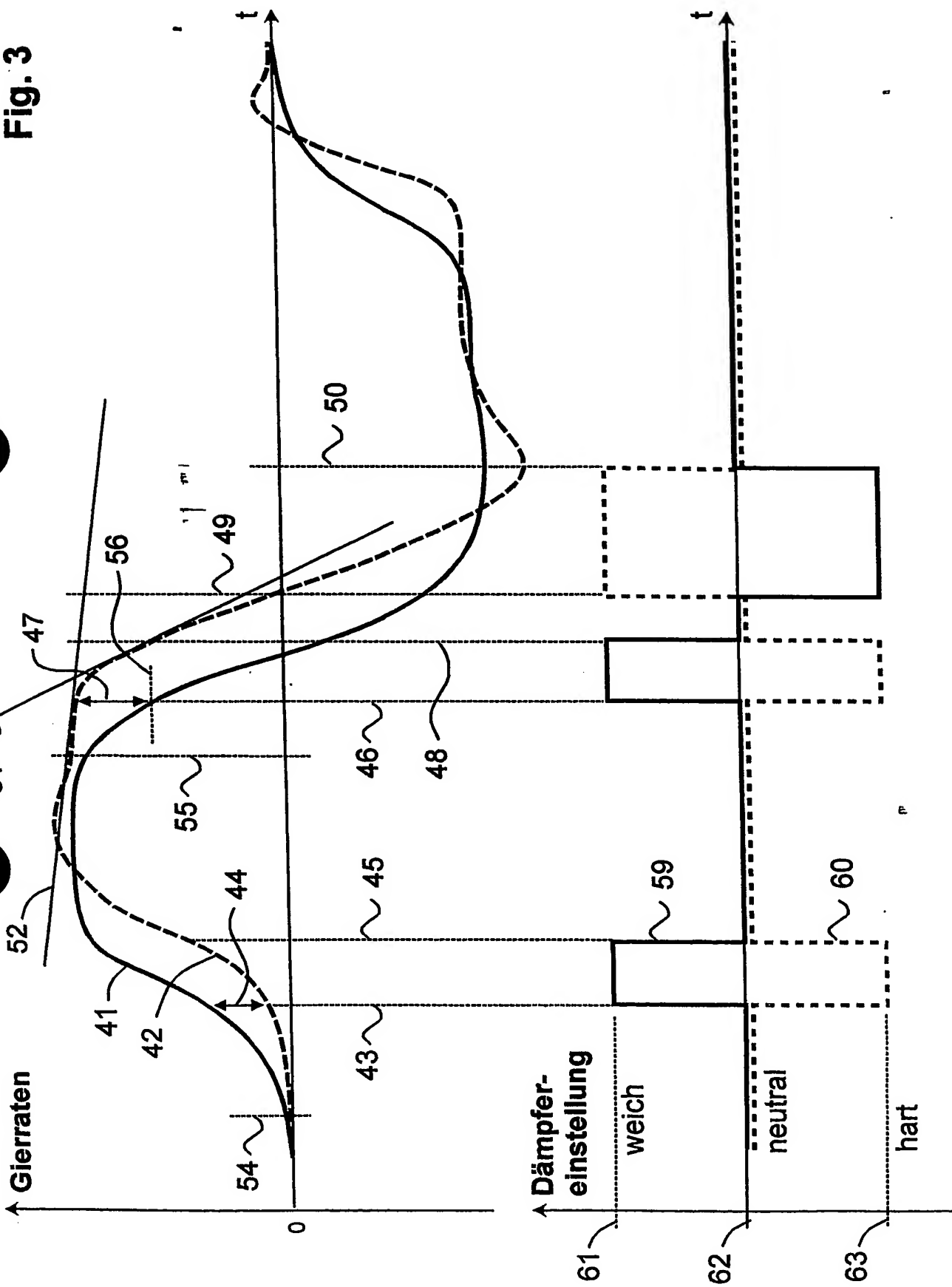
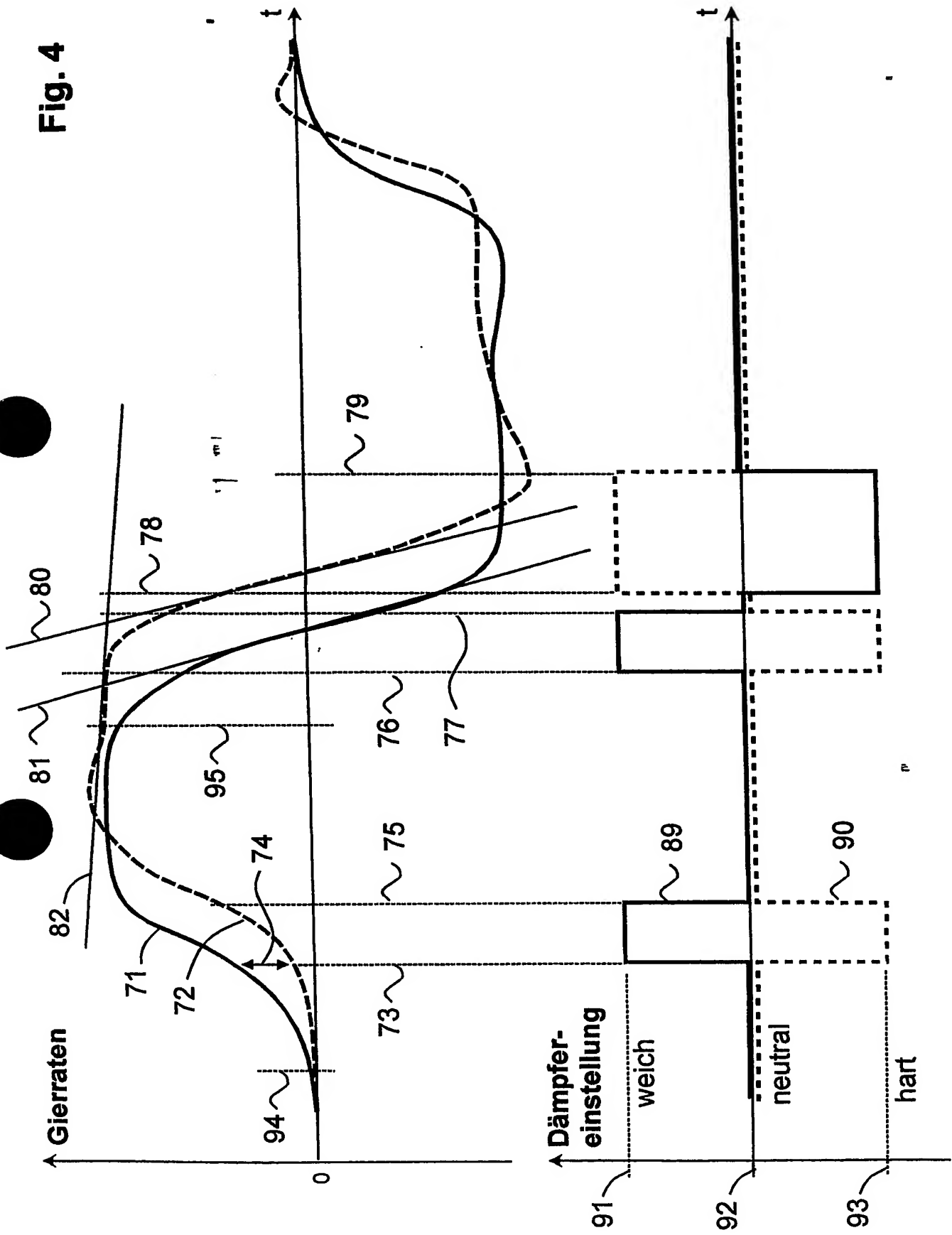


Fig. 4



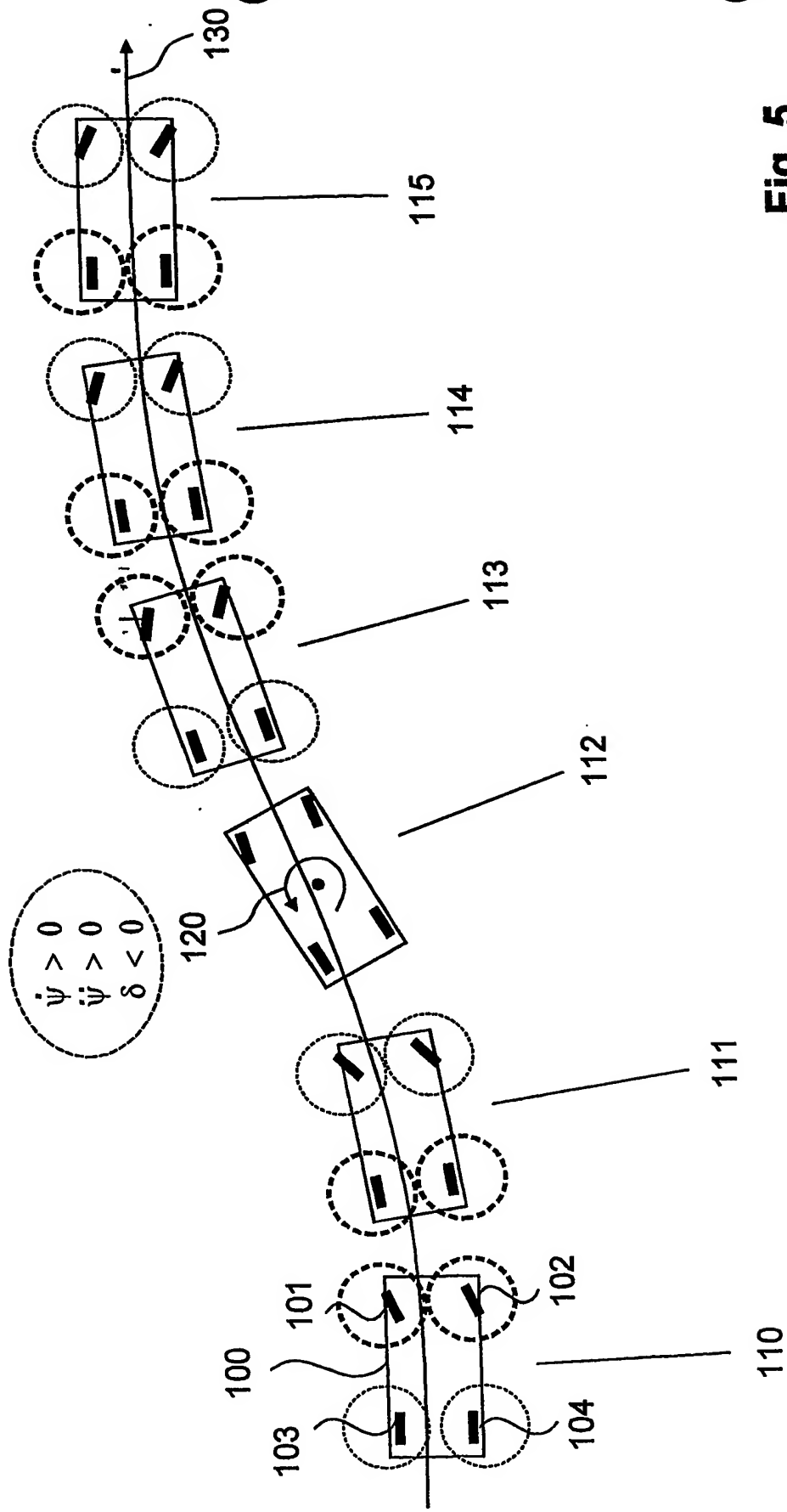


Fig. 5

Fig. 6

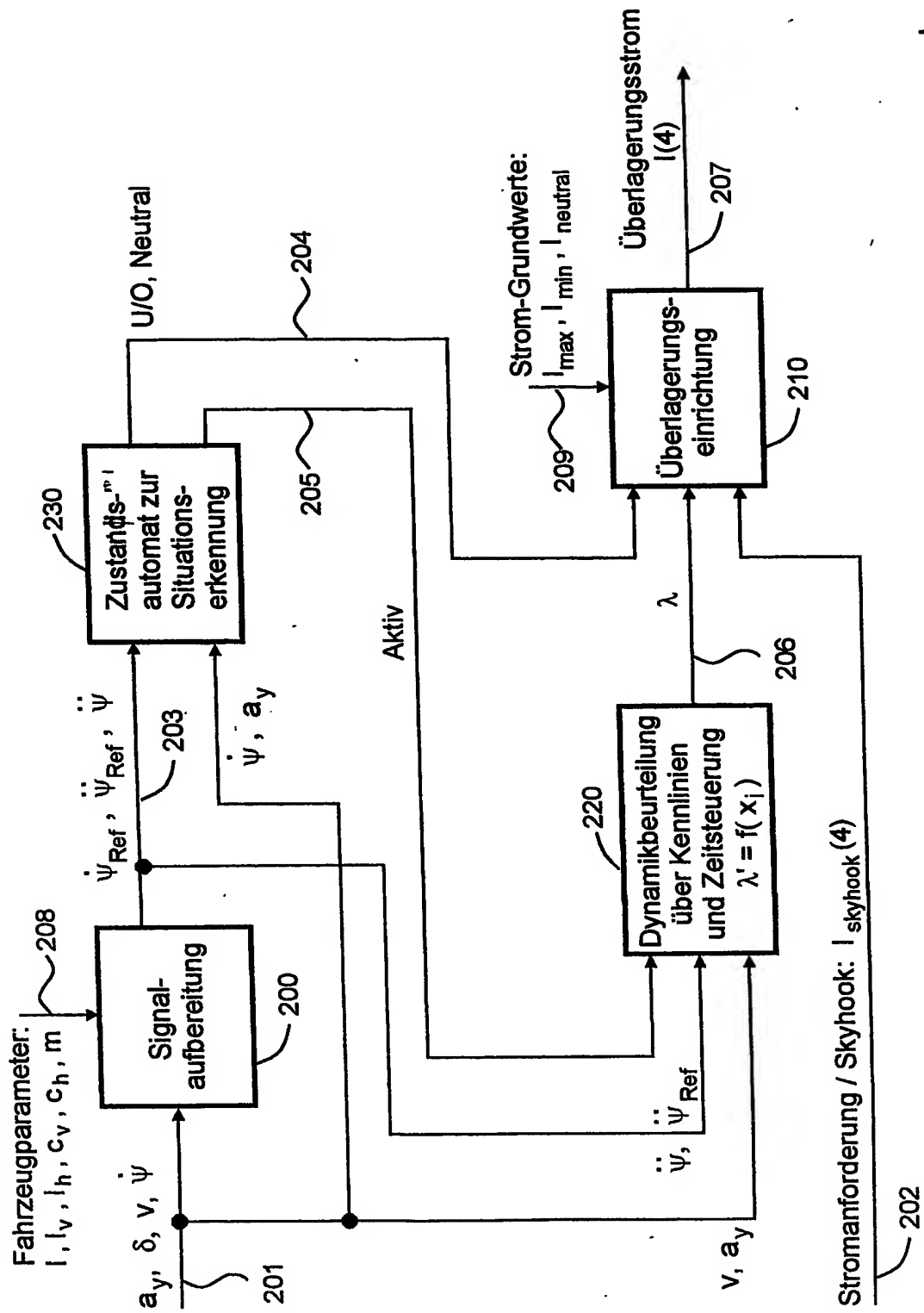
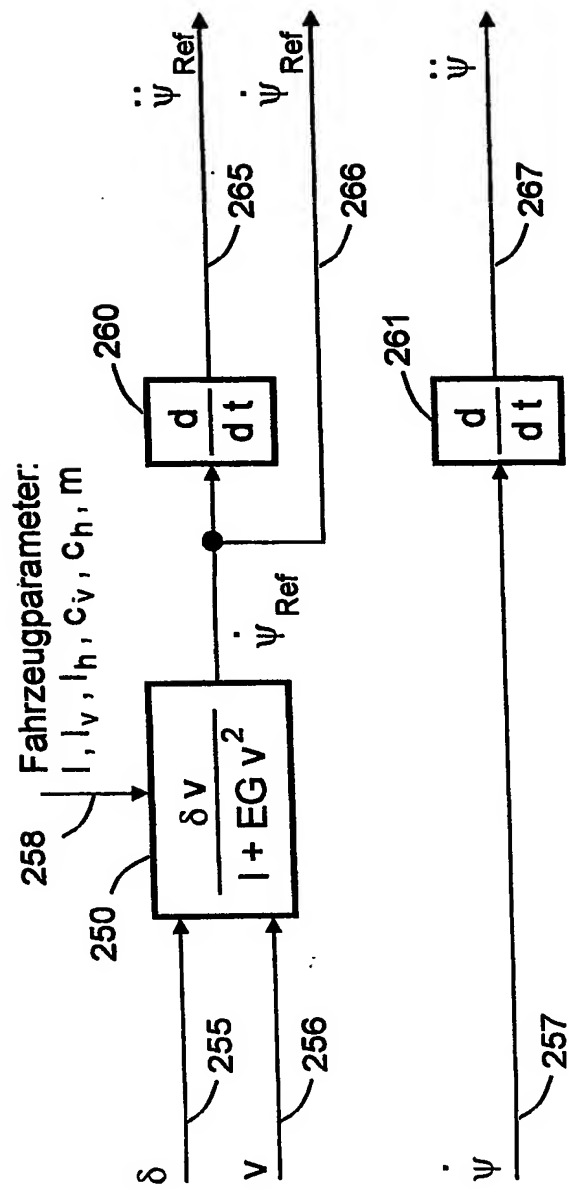


Fig. 7



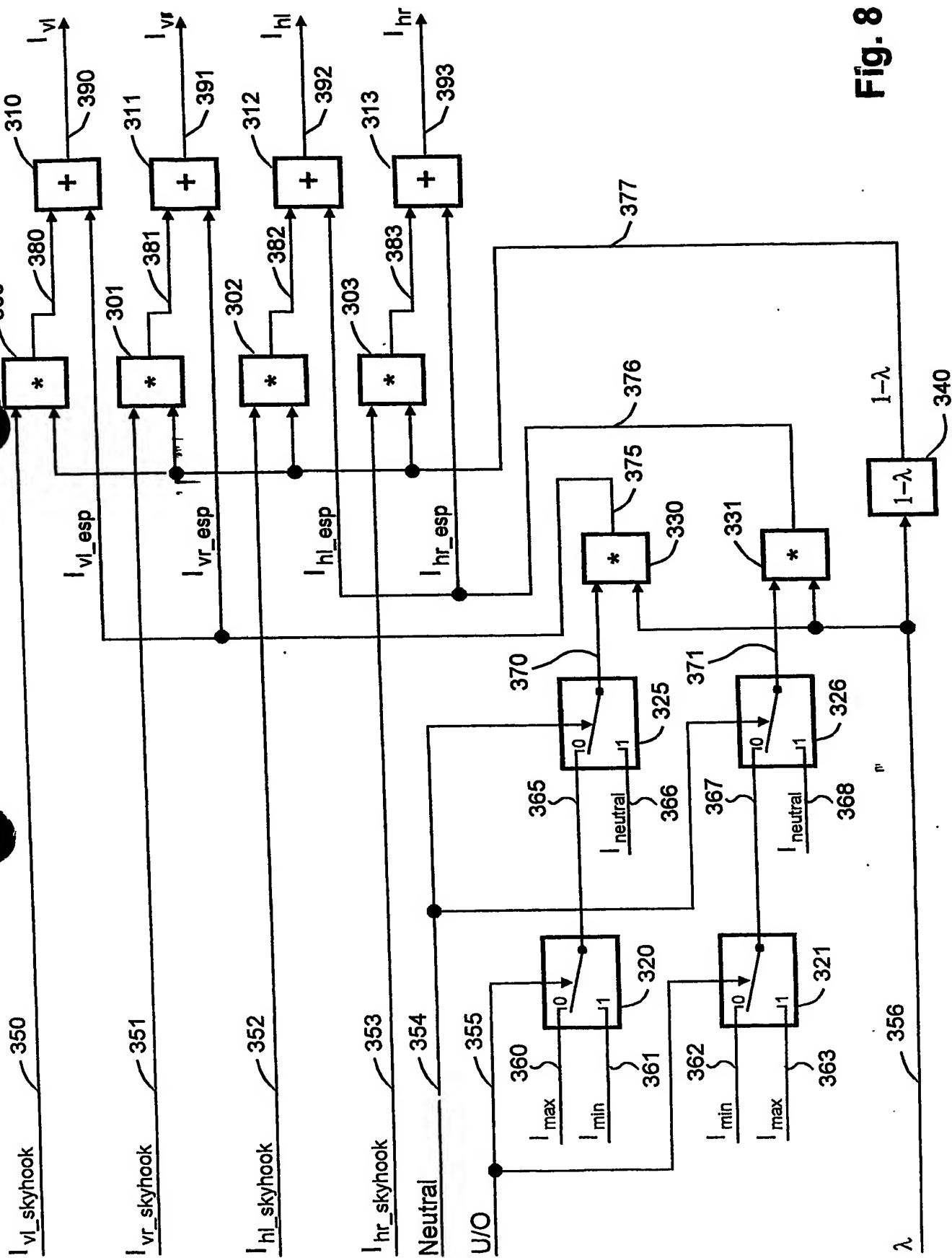


Fig. 8

Fig. 9

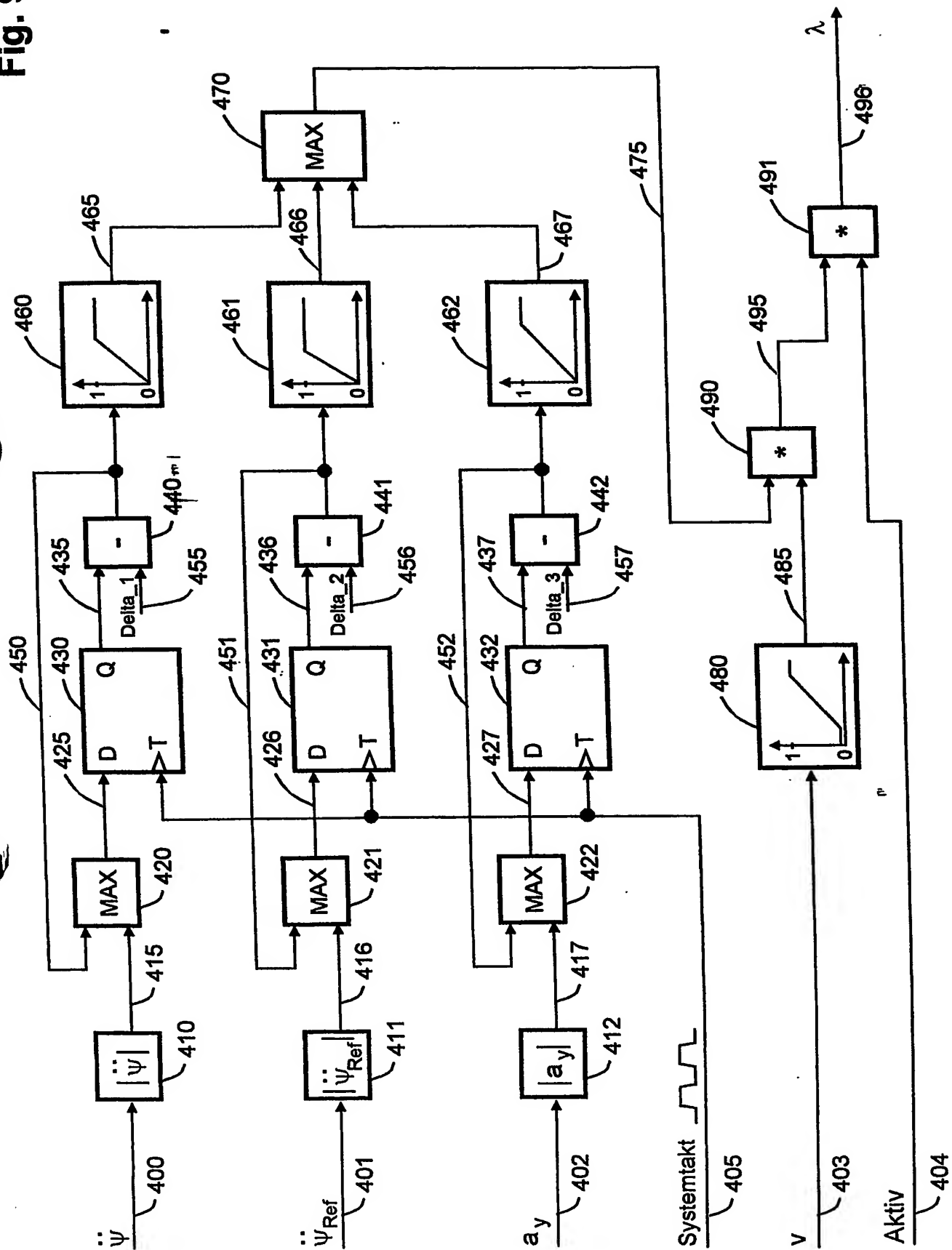
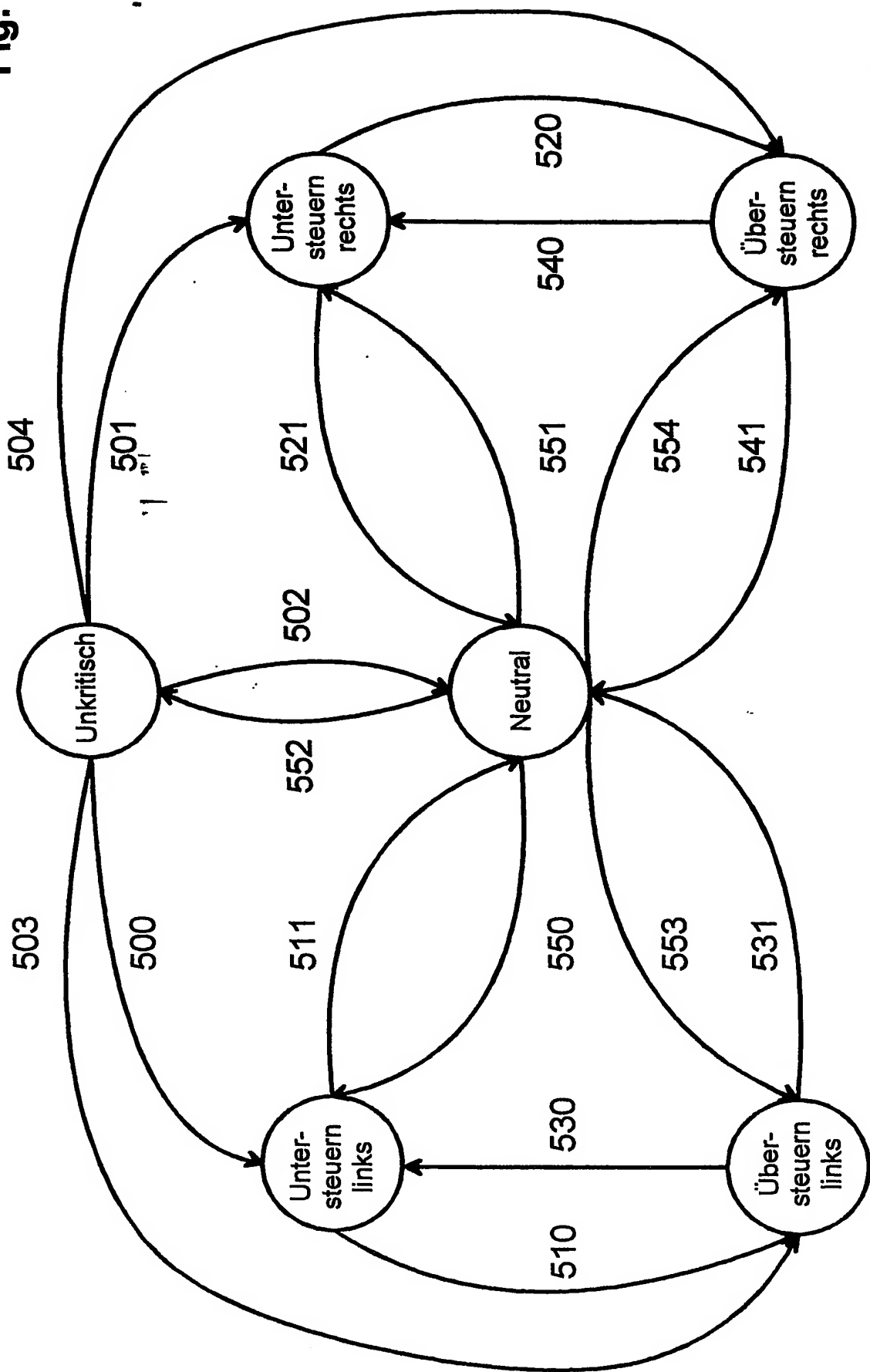


Fig. 10



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.